

ESPIGONES DE BAJO COSTE: DISEÑO Y COSTE DE MANTENIMIENTO

L. Moreno¹, J. J. Muñoz², A. Bernabeu³, L. Fages², A. de la Casa²

¹ Dirección Genral de Costas. Ministerio de Medio Ambiente

² Demarcación de Costas en Andalucía-Atlántico. M. de Medio Ambiente.

³ Dpto. de Xeociencias Marinas. Universidad de Vigo

INTRODUCCIÓN

La mejora de la estabilidad de la arena que constituye las playas requiere en numerosas ocasiones de la aplicación de medidas adicionales tales como la construcción de espigones de escollera fundamentalmente de contención lateral. Con frecuencia, estos espigones dan lugar a un importante impacto visual y a la modificación de la dinámica litoral en los tramos de costa adyacentes, debido al potencial incremento de la capacidad erosiva de las corrientes litorales.

La lucha contra la erosión, muchas veces crónica en algunas partes de nuestro litoral, ha llevado aparejada la ejecución de obras de defensa de costas entre cuyas tipologías genéricas se pueden citar los espigones, diques exentos, alimentaciones de playa, creación de playas encajadas o de bolsillo, o combinaciones de éstas.

	Espigones	Diques exentos	Alimentación	Playas de bolsillo
Transporte longitudinal	Sí	Sí	No	Sí
Transporte transversal	No	Sí	No	Parcial

Tabla I.- Interacción de diferentes sistemas de defensa de costas con el transporte lineal.

La efectividad de estas tipologías para interactuar con el transporte de sedimentos se describe en la tabla anterior (Moreno, 1997):

No obstante, cuando la regeneración no garantiza suficientemente la permanencia de la arena, las obras han de complementarse con la construcción de espigones de escollera, tal y como en el caso de algunas playas del litoral Atlántico gaditano, con objeto de disminuir la acción erosiva de los temporales y las corrientes litorales asociadas, limitándose el transporte longitudinal de sedimentos.

Características fisiográficas e hidrodinámicas de la zona

El litoral Atlántico gaditano comprende el sector costero entre la desembocadura del río Guadalquivir, al Noroeste, y el Estrecho de Gibraltar al Sudeste, con un total de 260 km de costa (Fig. 1). La zona septentrional es más llana y arenosa, mientras que la meridional es más abrupta y acantilada, especialmente cerca del Estrecho de Gibraltar, debido a la irrupción de la Cordillera Bética en el mar (Gutiérrez Mas et al., 1990).

La morfología escalonada de la costa está condicionada por la existencia de dos familias de fracturas, cuyas direcciones tectónicas dominantes son: NNW-SSE y E-O. Esta configuración da lugar a que el litoral se oriente casi totalmente de cara a los temporales del SO, los más fuertes en la zona. La rotura del oleaje generado por esos temporales genera una corriente dirigida hacia el SE, responsable del transporte en esa dirección de los sedimentos aportados por los grandes ríos que desembocan en la zona. No obstante, existen corrientes contrapuestas que dan lugar a que la arena no discorra de forma continuada desde las desembocaduras de los ríos hacia el Estrecho de Gibraltar, como las que generan los fuertes vientos de levante y que discurren hacia el Oeste y NO. Además, durante los grandes temporales, aparecen fuertes corrientes de fondo hacia mar adentro que conducen los sedimentos a profundidades tales que ya no es posible su incorporación a la dinámica sedimentaria de la playa.

El transporte neto deducido de las rosas de oleaje se produce en sentido Norte a Sur, excepto en el tramo de costa entre Chipiona y Sanlúcar de Barrameda, donde la dirección de transporte es hacia el Norte (Enríquez et al, 1997). El régimen de mareas es de carácter semidiurno y mesomareal, variando la amplitud de la carrera de marea entre los 1.58 m en Tarifa a los cerca de 4 m en Chipiona (Derrotero del Instituto Hidrográfico N^o 2).

METODOLOGÍA DE ESTUDIO EMPLEADA

Se han utilizado los siguientes tipos de metodologías: levantamientos topobatimétricos, análisis de sedimentos, estudios de clima marítimo y régimen de oleaje y modelización numérica.

Los levantamientos topobatimétricos tienen como finalidad conocer la topografía emergida y sumergida en cada tramo de costa. La separación entre perfiles ha sido variable según las circunstancias entre 50 y 100 m. Se realizaron durante la bajamar en la zona intermareal, mientras que en la zona sumergida se efectuaron durante la pleamar desde una embarcación de poco calado con objeto de asegurar un solape suficiente de los datos. El posicionamiento se realizó mediante DGPS. Asimismo se efectuó un calibrado de las posibles fuentes de error (Muñoz Pérez, 1995).

El análisis de sedimentos consistió en la extracción de muestras de arena de las playas. En la playa emergida el muestreo se efectuó mediante catas de 20 cm de lado y 20 cm de profundidad, convenientemente referenciadas. En la zona sumergida el muestreo se realizó con cuchara Van Veen desde embarcación. La distribución de tamaños de grano se determinó en laboratorio, mediante tamizado de las muestras, calculándose posteriormente los parámetros e índices granulométricos característicos. Calcimetrías y análisis biológicos y determinación de metales pesados complementaron la información. El estudio de clima marítimo y régimen de oleaje se realizó a partir de los datos proporcionados por las boyas escalares de la Red Española de Medida y Registro del Oleaje (REMRO). En la costa de Cádiz, la boya escalar se encuentra frente a la Punta de San Sebastián, sobre la isolínea de 22 m de profundidad. La supervisión y calibración de los datos la efectúa el Departamento de Clima Marítimo, dependiente del organismo autónomo de Puertos del Estado.

La utilización de modelos matemáticos de refracción-difracción se basaron en los datos de oleaje, corrientes y mareas previamente adquiridos "in situ", y han permitido obtener las direcciones y valores de las corrientes en la línea de rompientes del oleaje. Con objeto de comparar los resultados y acotar su margen de variabilidad se utilizaron varios modelos: MIKE 20 y MIKE 21, del Danish Hydraulic Institute, cuya solución numérica está basada en la aproximación propuesta por Holthuijsen et al (1989); REFDIF, elaborado por Grassa (1989), basado en la aproximación parabólica de Berkhoff (1972) y COPLA, puesto a punto por el Grupo de Investigación Oceanográfica y de

Costas de la Universidad de Cantabria, que considera como hipótesis principal la conocida como de pendiente suave o mild slope.

En distintas zonas y en variadas ocasiones se utilizaron trazadores fluorescentes. Así, se emplearon arenas coloreadas para determinar la eficacia de los espigones en la retención de la arena y se pudieron establecer las trayectorias seguidas por los diferentes tamaños de grano (Muñoz Pérez et al., 1999).

Además, se llevó a cabo el estudio de la evolución histórica de la línea de costa, en base a la recopilación de material gráfico – mapas, cartas náuticas, fotografías aéreas – sobre la situación de la línea de costa en el pasado. Se eligieron puntos fijos en la costa, tales como casas, muros, torres, instalaciones militares, etc., y se comparó su ubicación con el límite de la zona intermareal y los pies del cordón dunar.

TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS

La sección tipo utilizada consiste en una modificación de la de Ahrens (1970, 1975 y 1981) y su característica principal es que carece de núcleo y sólo dispone de escollera de tamaño uniforme de un peso mínimo de 2000 kg. Se trata de una tipología diferente a la empleada en los espigones convencionales, a base de un núcleo de todo uno, manto protector externo de piedras grandes y manto secundario que actúa de filtro para evitar la migración de sedimentos finos a través de los huecos (Fig. 2).

El material empleado fue escollera de las canteras próximas que presenta una buena integración en el paisaje y permite que, sobre su superficie, se instalen lapas, ostiones y otras especies marinas que incrementan la riqueza medioambiental.

Para el cálculo del peso de los bloques de escollera se utilizó la fórmula de Hudson (1958), desarrollada a partir de ideas previas de Iribarren (1938):

$$W = \frac{\gamma_s H^3}{\cot \alpha \cdot K_D \cdot \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right)^3}$$

siendo

W , peso de la piedra

H , altura de ola de cálculo

s_p , peso específico de la piedra

w , peso específico del agua del mar

α , el ángulo del paramento exterior del talud y la horizontal

K_D , coeficiente de la escollera de cantera (~ 3.5).

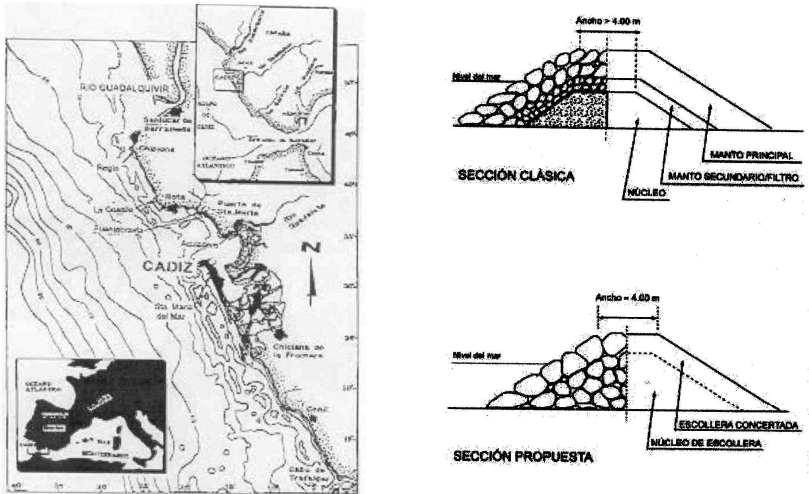


Figura 1.- Situación geográfica de la zona y emplazamiento de las obras de defensa realizadas. (Fuente: Muñoz Pérez, J. J. y Gutiérrez Mas, J. M., 1999).

Figura 2.- Comparación entre la sección clásica y la propuesta. (Modificada de : Muñoz Pérez, J. J. y Gutiérrez Mas, J. M. 1999)

El uso de arenisca calcárea en la parte vista del espigón es una opción que se considera generalmente negativa por la mayor fragilidad y menor resistencia de esta roca a los esfuerzos de flexotracción. No obstante, debido a su morfología en lascas, permite una ubicación encajada tanto en los taludes como en la coronación. Se consigue así una superficie de piedra careada de gran belleza, que permite incluso el tránsito de usuarios y, en algunos casos, como en la playa de la Costilla en Rota, la instalación de bancos y farolas (Fig. 5). Esta disposición produce, además, una trabazón de los bloques de piedra que incrementa su estabilidad respecto a las de sección caracterizada por piedras simplemente arrojadas.

Por lo que respecta al perfil longitudinal, se diseñó el de menor impacto visual y coste. Se adoptó una pendiente similar a la del perfil de equilibrio de la playa en invierno, con un resguardo variable sobre ella de entre 0.5 y 1 m. La anchura del espigón convencional requiere, para su ejecución, de un mínimo de 4 m en la parte superior del núcleo con objeto de permitir el tránsito de camiones y maquinaria pesada para la construcción del mismo. Los espesores suplementarios de los mantos de filtro y protección exterior (Fig. 2) conducen finalmente a un volumen total de piedra muy superior al estrictamente necesario para cumplir con el objetivo de impedir la pérdida de arena a través del mismo.

La longitud de los espigones está condicionada por la batimetría del fondo y coincide con la profundidad de cierre del perfil activo de la playa. Para su determinación teórica se utilizó, en principio, la fórmula de Birkemeier (1985):

$$d_1 = 1,75 H_{s12}$$

donde:

d_1 , profundidad de cierre

H_{s12} , altura de ola significativa con probabilidad de excedencia de 12 horas al año

Seguimiento de la efectividad de los espigones

El grado de ajuste de los efectos reales con los previstos en los modelos matemáticos se comprobó por medio de la realización de seguimientos topográficos y batimétricos efectuados durante un periodo bianual tras la regeneración y utilizando la misma metodología que la descrita en la fase de estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Referente al diseño y técnicas empleadas

Las obras realizadas tuvieron como objetivo el evitar o retrasar la pérdida de arena en las playas más afectadas por el avance de los procesos dinámicos erosivos. Estos tramos de costa, que experimentaban un notable retroceso del perfil y un gran descenso de su depósito de arena, vieron disminuida la migración de los granos hacia zonas más profundas de difícil recuperación. En la tabla II se muestran la fecha, inversión, volumen de escollera y precio de ejecución material por tonelada de las actuaciones de defensa efectuadas

en diferentes playas del litoral Atlántico gaditano, cuyo emplazamiento y localización respecto a la costa adyacente y su situación geográfica en la costa se indica en la Fig. 3.

Playa (Municipio)	Año	Peso de escollera (tn)	Peso unitario (tn)	Presupuesto (Mpta.)	Coste unitario (Pta/tn)
Regla (Chipiona)	1992	5.450	> 4	18	3.300
La Costilla (Rota)	1994	3.130	> 3	6.5	2.075
Fuentebravía (Puerto de Santamaría)	1993	14.370	> 3	24.9	1.730
Aculadero (Puerto de Santamaría)	1993	3.400	> 2	7.6	2.230
Sta. María del Mar (Cádiz)	1985	43.320	> 7	63.2	1.460

Tabla II.- Localización, fecha de construcción, inversión, volumen de escollera y precio por tonelada en las obras de defensa realizadas en las playas del litoral Atlántico de Cádiz.

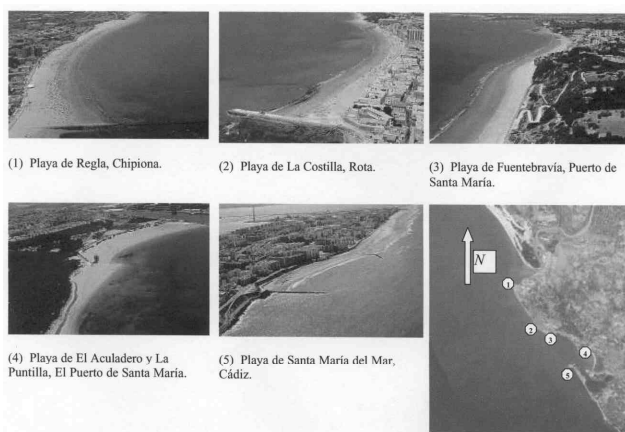


Figura 3.- Mapas esquemáticos de emplazamiento y situación de los espigones de escollera realizados en el litoral gaditano (Fuente: Catálogo de Playas del Ministerio de Medio Ambiente)

Respecto a las técnicas empleadas en su construcción, representan una tipología diferente de la tradicional, ya que el espigón se realiza a base de escollera casi uniforme, sin núcleo ni manto secundario o filtro. Su principal ventaja es que se precisa un volumen de material muy inferior para conseguir la

misma finalidad: actuar como una trampa sedimentaria y constituir una barrera al transporte longitudinal de sedimentos (Fig. 2).



Figura 4.- Típico espigón terminal en una obra de alimentación de playa

CONCLUSIONES

Se han ensayado diferentes técnicas y diseños para solucionar los problemas hidrodinámicos reales relacionados con el sostenimiento del perfil de playa, abaratar costes, facilitar la construcción y optimizar los recursos e inversiones realizadas. Se describen una serie de obras de defensa, espigones perpendiculares y paralelos a la orilla, realizadas recientemente en el litoral Atlántico de la provincia de Cádiz. Presentan una tipología diferente, a base de escollera uniforme, respecto a la sección tipo tradicional, y precisan de un volumen muy inferior de material para conseguir el mismo objetivo, crear una barrera que obstaculice el transporte longitudinal de sedimento.

Estos diques en talud contruidos a base de escollera, presentan una mejor integración en el paisaje y en el entorno que los confeccionados con otro tipo de materiales. La elección de arenisca calcárea en vez de roca caliza obedece a la mayor proximidad de las canteras, lo que supone un abaratamiento del transporte. Además, debido a su forma en lájas, permite una mejor ubicación y trabazón que incrementa la estabilidad. Como contrapartida, existe un mayor riesgo de rotura que se soluciona mediante el encaje y encastre de la piedra.

A los perfiles longitudinales de los espigones se les ha dado una pendiente hacia el mar similar a la del perfil de equilibrio de la playa. Se ha establecido una profundidad de -2 a -3 m, en base a la observación de la evolución de series temporales en distintas playas del litoral gaditano.

Finalmente, se ha demostrado que la utilización de espigones no tiene por qué ser a priori perjudicial para la estabilidad de la costa aguas debajo de su ubicación. Al contrario, serán recomendables siempre que existan disposiciones morfológicas, tales como vaguadas o cañones submarinos, que pudieran actuar como sumideros en el transporte longitudinal de sedimentos.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a la Dirección General de Costas por la disponibilidad de todos los datos precisos para la redacción de este artículo y al Proyecto de Investigación de la CICYT MAR98-0796.

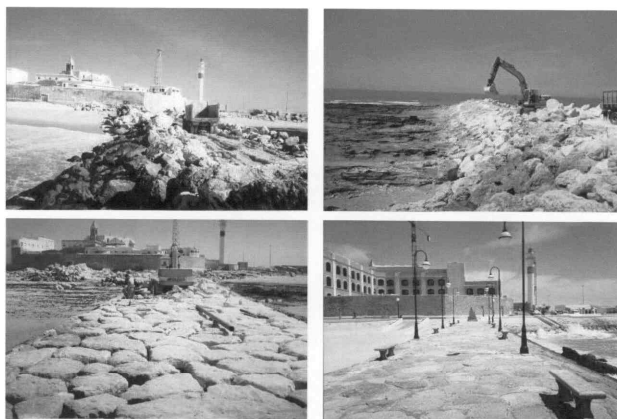


Figura 5.- Fases de construcción del sistema de espigones, con detalle de una posible terminación urbana.

REFERENCIAS

- Ahrens, J. P., 1970. "The influence of breakwater type on rip-rap stability". Proc. 12th Conference on Coastal Engineering, Washington.
- Ahrens, J. P., 1975. "Large wave tank tests of rip-rap stability". U. S. Army Corps of Engineers. Coastal Engineering Research Center. Tech. Mem. No. 51.

- Ahrens, J. P., 1981. "Design of rip-rap revetments for protection against wave attack". Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi.
- Berkhoff, J. C. W., 1972. "Computation of combined refraction-diffraction". Proc. 13th Int. Conference on Coastal Engineering, ASCE, Vancouver, pp 471-490.
- Birkemeier, W. A., 1985.. "Field data on seaward limit of profile change". Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, May, pp 598-602.
- Derrotero nº 2 tomo II de las cotas de Portugal y SW de España, 1990. Servicio de publicaciones de la Armada. Instituto Hidrográfico de la Marina. Cádiz.
- Enríquez, J., Muñoz Pérez, J. J. y Gómez Pina, G., 1997. "Dinámica litoral del tramo Sanlúcar de Barrameda-Rota". IV Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos, Dpto. de Física Aplicada, Univ. Cádiz.
- Grassa, J. M., 1989. "Apuntes para la utilización del modelo REFIDIF de refracción-difracción y aproximación parabólica". CEDEX-Centro de Estudios de Puertos y Costas. Madrid.
- Gutiérrez Mas, J. M., Martín Algarra, A., Domínguez Bella, S. Y Moral Cardona, J. P., 1990. "Introducción a la geología de la provincia de Cádiz". Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz, 315 pp.
- Holthuijsen, L. H., Booij, N. y Herbers, T. H. C., 1989. "Aprediction model for stationary, short-crested waves in shallow water with ambient current". Coastal Engineering, vol 13, pp 23-54.
- Hudson, R. Y., 1958. "Design of quarry-stone cover layer for rubble mound breakwaters". Research Report No. 22. U. S. Army Engineering Waterway Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- Iribarren Cavanilles, R., 1938. "Una fórmula para el cálculo de diques de escollera". Revista de Obras Públicas.
- Moreno, L., 1997. "Critical review of headland concept of shore protection". Mater of engineering Project Report, Texas A&M University.
- Muñoz Pérez, J. J., 1995. "Fiabilidad de las batimetrías y granulometrías: su aplicación a la cubicación de la playa Victoria (Cádiz)". III Jornadas de Ingeniería de Costas y Puertos. Univ. Politécnica de Valencia.
- Muñoz Pérez, J. J., Gutiérrez Mas, J. M. y Parrado, J. M., 1996. "Estudio del movimiento de sedimento en la playa de Regla (Chipiona, Cádiz) mediante el uso de trazadores fluorescentes". Bol. Geológico y Minero, vol 107-1 pág. 29-37.
- Muñoz Pérez, J. J. y Gutiérrez Mas, J. M., 1999. "Tipología y eficacia de los espigones de escollera construidos para la mejora de la estabilidad de las playas del litoral Atlántico de la provincia de Cádiz". Bol. Geológico y Minero, vol 110-1, pág. 53-66.
- Muñoz Pérez, J. J., Gutiérrez Mas, J. M., Parrado Román, J. M. y Moreno, L., 1999. "Determination of sediment transport velocity by a tracer experiment at Regla Beach". Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering.